



# Analyse des donnees de faisceau test des modules tonneaux du calorimetre electromagnetique d'ATLAS

O. Gaumer

## ► To cite this version:

O. Gaumer. Analyse des donnees de faisceau test des modules tonneaux du calorimetre electromagnetique d'ATLAS. Journees Jeunes Chercheurs 2002, Dec 2002, Aussois, France. pp.27-30. in2p3-00014171

**HAL Id: in2p3-00014171**

**<https://hal.in2p3.fr/in2p3-00014171>**

Submitted on 25 Nov 2003

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Analyse des données de faisceau test des modules tonneaux du calorimètre électromagnétique d'ATLAS

Olivier Gaumer

LAPP, Annecy (olivier.gaumer@lapp.in2p3.fr)

## Résumé

L'expérience ATLAS est d'abord décrite dans son ensemble. La calorimétrie électromagnétique d'ATLAS est ensuite présentée avec la structure et les performances requises pour le calorimètre. Finalement les tests de qualification des modules du calorimètre tonneau lors de l'assemblage au Laboratoire d'Annecy-le-vieux de Physique des Particules et l'analyse des données prises en faisceau test au CERN sont détaillés.

## 1 L'expérience ATLAS

Le LHC permettra d'étudier une grande variété de phénomènes physiques allant de la recherche de nouvelles particules et de nouveaux phénomènes aux mesures de précision.

Un des axes les plus importants de recherche d'ATLAS sera l'étude de la brisure de symétrie électrofaible, avec notamment la recherche du boson de Higgs. D'autres aspects reliés aux brisures de symétrie seront par ailleurs étudiés, tels que la recherche des particules prédites par la supersymétrie.

De plus, des mesures de précision sur la masse du W et du quark top, de nombreuses études de QCD, des investigations sur la violation de CP dans les désintégrations du b et des mesures de couplage à trois bosons de jauge vont être des sujets de recherche importants pour les physiciens d'ATLAS [1].

La physique qui sera étudiée au LHC impose au détecteur des performances très poussées : une reconstruction très efficace des trajectoires des particules dans un environnement chargé de traces et de bruits, une très bonne capacité à identifier les électrons et les photons et à en mesurer l'énergie, une excellente herméticité pour la reconstruction des jets et de l'énergie manquante et une très bonne précision sur la mesure de l'impulsion des muons. Ces performances sont assurées par 3 sous détecteurs :

- Le trajectographe interne, conçu pour reconstruire les trajectoires des particules chargées et les vertex d'interaction et de désintégration.
- Les calorimètres, prévus principalement pour mesurer l'énergie des particules. Le détecteur comprend le ca-

lorimètre électromagnétique et le calorimètre hadronique.

- Le spectromètre à muons, chargé d'identifier les muons et de mesurer leur impulsion avec une grande précision.

## 2 Le calorimètre EM d'ATLAS

Le calorimètre électromagnétique d'ATLAS est un calorimètre à échantillonnage Plomb-Argon liquide. Il est composé de deux parties : le "tonneau" ( $|\eta| < 1.475$ ) et les "bouchons" ( $1.375 < |\eta| < 3.2$ )<sup>1</sup>.

### 2.1 Description

Le tonneau du calorimètre électromagnétique est composé de 2 demi-cylindres creux identiques ayant chacun une structure modulaire (chaque demi-cylindre comporte 16 modules). Au total chacun des modules compte 1024 absorbeurs de plomb ayant tous une structure en accordéon, ce qui confère au calorimètre une couverture azimutale totale (l'azimut est représenté par  $\varphi$ ).

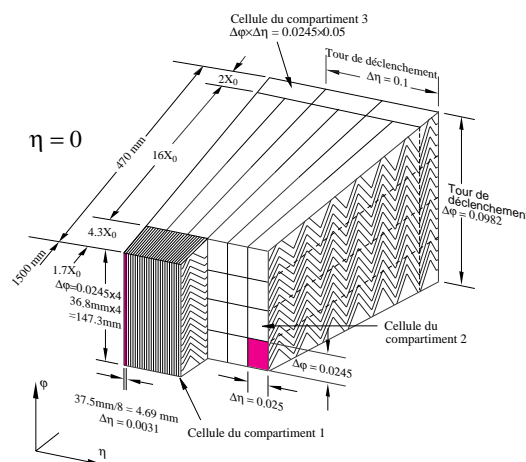


FIG. 1 – Structure et caractéristiques du tonneau du calorimètre EM d'ATLAS.

Entre deux absorbeurs, on trouve deux espaces de 1.94 mm remplis d'argon liquide et séparés par des

<sup>1</sup> $\eta$  est la pseudorapidité définie comme  $\eta = -\ln|\tan \frac{\theta}{2}|$  où  $\theta$  est l'angle mesuré par rapport à l'axe du faisceau

électrodes. Les électrodes sont centrées entre les plaques d'absorbeurs par l'intermédiaire d'une structure en nid d'abeilles. Elles sont composées de trois couches de cuivre isolées électriquement par deux couches de polyamide. La couche de cuivre interne est la couche de lecture du signal et les deux autres sont celles auxquelles la haute tension est appliquée. Sur la Fig. 1 on peut voir la structure du calorimètre électromagnétique d'ATLAS, ainsi que sa segmentation longitudinale, radiale et azimutale, et sa profondeur en longueur de radiation.

## 2.2 Performances requises

Le calorimètre électromagnétique d'ATLAS est conçu pour identifier les électrons et les photons, et pour mesurer avec précision leur énergie et leur direction. La physique étudiée au LHC lui impose des caractéristiques très poussées [2] [3].

Le calorimètre doit tout d'abord avoir une très bonne **résolution en énergie**. Ceci sera déterminant pour la physique du Higgs, notamment pour la recherche des événements  $H \rightarrow 4e$  et  $H \rightarrow \gamma\gamma$ . La résolution en énergie d'un calorimètre à échantillonnage peut être paramétrée comme suit :

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{a\%}{\sqrt{E}} \oplus \frac{b}{E} \oplus c\%,$$

où le premier terme dépend des fluctuations sur la répartition de l'énergie entre le milieu absorbeur et le milieu détecteur. Le deuxième est dû principalement à l'électronique et aux effets d'empilement et le troisième dépend des non-uniformités de la réponse en énergie du calorimètre. Les besoins de la physique donnent les limites suivantes :  $a \leq 10\%$ ,  $b \leq 300 \text{ MeV}$  et  $c \leq 0.7\%$  pour le calorimètre complet. De plus, afin de pouvoir reconstruire les masses invariantes avec précision, le calorimètre doit avoir une **résolution angulaire** telle que :  $\sigma_{angl} \leq \frac{40 \text{ mrad}}{\sqrt{E}}$ . Par ailleurs, l'étude des processus avec énergie manquante, requière une très grande **herméticité**, et donc une grande couverture en  $\eta$  et en  $\varphi$ . Dans le but de différencier les gerbes hadroniques des gerbes électromagnétiques, le calorimètre doit avoir une bonne **segmentation radiale, longitudinale et azimutale** (Fig. 1). Les conditions extrêmes qui découlent de la très grande luminosité imposent une granularité très fine, une réponse très rapide et une bonne tenue aux radiations.

## 3 Tests des électrodes à l'assemblage

Le LAPP est en charge de la construction d'un tiers des modules tonneaux du calorimètre électromagnétique. L'expérience impose certaines contraintes : le calorimètre sera inaccessible durant l'expérience et plus de 100000 voies sont à tester. Des tests de qualification sont

donc nécessaires afin de valider chacune des électrodes indépendamment lors de l'assemblage : un test "Très Basse Fréquence", un test "Haute Tension" et un test de mesure de capacité.

### 3.1 Test TBF

Le test TBF permet de vérifier la continuité des électrodes. Il consiste à injecter un signal sinusoïdal de très basse fréquence dans les couches haute tension de l'électrode considérée et à visualiser le signal induit par couplage capacitif sur la couche de lecture de l'électrode. Si le signal reçu est en-deçà d'un certain seuil, cela indique la présence de défauts dans le circuit de la distribution de la haute tension. L'électrode doit alors être changée.

### 3.2 Test HT

Une fois le circuit de haute tension validé, il faut tester la tenue des électrodes à une haute tension (la tension appliquée sur les couches HT durant l'expérience sera de 2000 V une fois le calorimètre baigné dans l'argon liquide). Pour nos tests, les électrodes sont soumises à une tension de 2200 V (à l'air) pour une durée de 10 minutes dans un premier temps, puis d'une nuit. L'intérêt de ce test est de détecter les claquages qui peuvent être dus à la présence de poussières dans les espaceurs ou à un court-circuit entre une couche HT et la couche signal de l'électrode.

### 3.3 Mesure de capacité

Ensuite on effectue une mesure de l'épaisseur entre deux absorbeurs par capacimétrie. Cette mesure consiste à évaluer au capacimètre la capacité électrode-absorbeur. Elle permet de vérifier la qualité de l'assemblage mécanique du module. La dispersion de l'épaisseur entre deux absorbeurs doit contribuer à moins de 0.15% au terme constant de la résolution en énergie, ce qui implique une dispersion de moins de  $50\mu\text{m}$ . C'est une méthode de mesure stable à 0.1% qui permet un contrôle mécanique à  $50\mu\text{m}$ .

## 4 Analyse des données de faisceau test

Une fois les modules terminés ils sont câblés puis envoyés au CERN afin d'être assemblés entre eux ou soumis à un test en faisceau. Parmi les 32 modules produits 4 ont été testés en faisceau. L'objectif principal de ces tests est l'étude de la résolution en énergie, de l'uniformité et de la linéarité de la réponse du calorimètre.

## 4.1 Dispositif expérimental

Le faisceau utilisé est un faisceau d'électrons de 250 GeV (des données ont été prises à d'autres énergies mais l'analyse suivante ne porte que sur les données à 250 GeV). La Fig. 2 représente la ligne de faisceau utilisée pour les tests. Les scintillateurs S1, S3 et S4 sont utilisés en coïncidence pour le déclenchement. Les chambres à fils CH1, CH2, CH3 et CH4 permettent de reconstruire la trajectoire des particules et le scintillateur PIONS permet de rejeter les pions qui ont interagi dans le calorimètre.

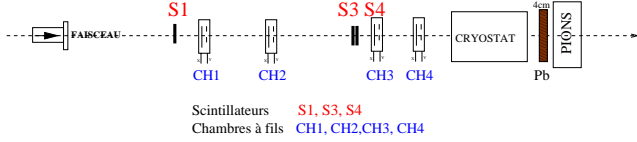


FIG. 2 – Ligne de faisceau utilisée pour les test de modules.

Le module quant à lui est dans le cryostat, rempli d'argon liquide. Le cryostat est déposé sur une table mobile qui permet de positionner le module par rapport au faisceau.

## 4.2 Reconstruction de l'énergie

Les événements enregistrés sont analysés par un programme qui lit les données brutes, soustrait les piédestaux, applique les gains de calibration et les corrections qui prennent en compte les variations de la température de l'argon liquide. Ensuite il reconstruit et mesure les dépôts d'énergie dans les quatre couches du calorimètre. Pour cela, il regroupe dans chaque compartiment les cellules en amas, ensemble continu de cellules. L'énergie déposée dans une couche est calculée en faisant la somme des énergies déposées dans chaque cellule d'un amas. L'énergie d'une cellule est proportionnelle à l'amplitude maximale du signal électrique recueilli dans la cellule.

## 4.3 Effets à corriger

### 4.3.1 Effets d'amas

Lorsque l'on observe la distribution de l'énergie totale en fonction de  $\eta$  ( $\eta$  et  $\varphi$  sont exprimés en unité de cellule du compartiment milieu) on remarque un motif qui a une périodicité de la taille d'une cellule du compartiment milieu. La Fig. 3 représente l'énergie totale en fonction de  $\eta$  pour la cellule  $\varphi = 10$  et  $\eta = 34$ . Cet effet est dû à la formation des amas dans le programme d'analyse. En effet, si la particule frappe le calorimètre près du bord d'une cellule du milieu, on perd plus d'énergie par débordement que si la particule arrosait le calorimètre au centre d'une cellule. Cet effet est corrigé en ajustant

un polynôme d'ordre 2 sur la distribution moyenne de l'énergie en  $\eta$  par ligne en  $\varphi$ , le facteur de normalisation étant l'énergie au centre d'une cellule.

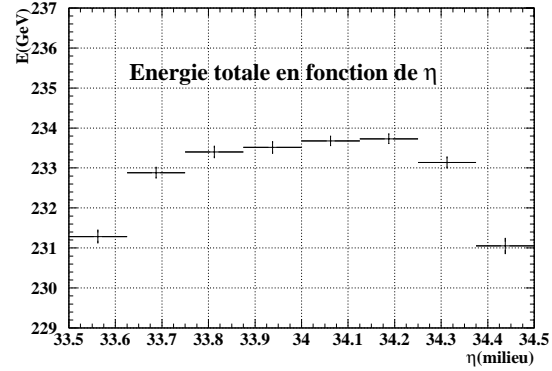


FIG. 3 – Energie totale reconstruite en fonction de  $\eta$  pour une zone du calorimètre équivalente à une cellule du compartiment milieu.

### 4.3.2 Effets d'accordéon

Du fait de la géométrie accordéon, une particule incidente ne rencontrera pas la même épaisseur d'absorbant selon  $\varphi$ . La gerbe électromagnétique se développe donc différemment suivant l'azimut.

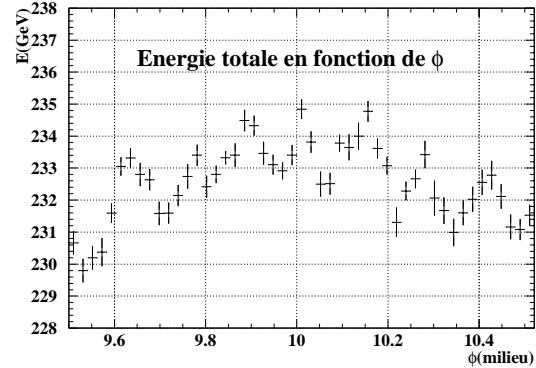


FIG. 4 – Energie totale reconstruite en fonction de  $\varphi$  pour une zone du calorimètre équivalente à une cellule du compartiment milieu.

La Fig. 4 représente l'énergie totale en fonction de  $\varphi$  pour la cellule  $\varphi = 10$  et  $\eta = 25$ . On remarque qu'en plus de l'effet d'amas, viennent s'ajouter des modulations causées par les plis de l'accordéon. Cet effet est corrigé indépendamment d'une cellule à l'autre en ajustant un polynôme d'ordre 2 (pour l'effet d'amas) auquel on ajoute deux sinusoides<sup>2</sup>, le facteur de normalisation étant l'énergie au centre d'une cellule.

<sup>2</sup>  $E(\varphi) = \alpha(1 + \beta\varphi + \delta\varphi^2 + \gamma\sin(16\pi\varphi + \epsilon) + \lambda\sin(8\pi\varphi + \omega))$

### 4.3.3 Effets de fuites et de matériaux morts

Lorsqu'une gerbe électromagnétique se développe, elle n'est pas forcément entièrement contenue dans le calorimètre, une partie de l'énergie est alors perdue vers l'arrière. Par ailleurs, les matériaux présents en amont du calorimètre vont provoquer un développement anticipé de la gerbe, dans ce cas une partie de l'énergie est donc perdue en amont du calorimètre [4]. Pour corriger ces effets, des coefficients correctifs sont calculés et appliqués dans le compartiment arrière (pour les fuites) et dans le pré-échantillonneur (pour les matériaux en amont).

## 4.4 Résultats préliminaires sur l'uniformité

La Fig. 5 représente le résultat préliminaire pour l'uniformité du module de série P13 assemblé au LAPP. Sur la partie gauche du graphique est représenté l'énergie totale reconstruite en fonction de  $\eta$  pour toutes les lignes en  $\varphi$  pour lesquelles nous avons des données. La projection de ce graphique est représentée sur la partie droite.

Lors de la prise de données, les données sont recueillies par deux traversées de cables, une pour les  $\varphi \leq 7$ , l'autre pour les  $\varphi \geq 8$ . On remarque que le comportement de l'énergie est différent selon la traversée de cable utilisée. L'uniformité pour la première traversée de cable est de 0.8% alors que pour la deuxième elle est de 0.43%. Cet effet est dû à un problème de diaphonie au niveau des connecteurs de la première traversée de cable.

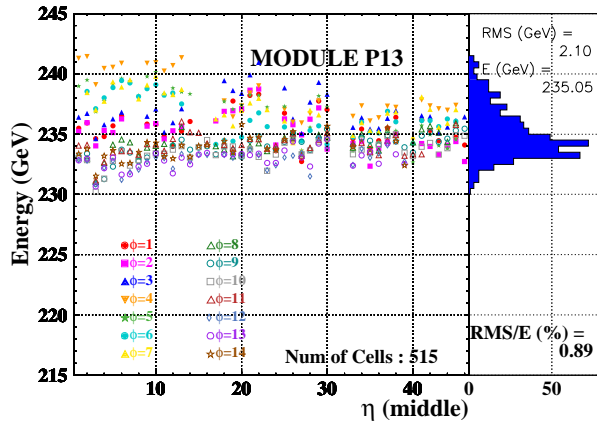


FIG. 5 – Uniformité du module de série P13.

Par ailleurs on peut voir que certaines cellules n'ont pas été prises en compte pour le calcul de l'uniformité. En effet pour certaines cellules on ne recueille pas de signal (la connexion avec le module est coupée). Ces cellules particulières affectent leurs plus proches voisins (par

effet d'amas). Elles sont toutes rejetées.

L'uniformité obtenue, après le traitement des corrections décrites précédemment, est de 0.89%. C'est un résultat préliminaire qui va être amélioré en étudiant et corrigeant la diaphonie présente dans la première traversée de cable.

## 4.5 Résultats préliminaires sur la résolution en énergie

Pour un secteur<sup>3</sup> le terme constant de la résolution en énergie doit être inférieur à 0.5%. Les résultats préliminaires sur la résolution donnent une résolution comprise dans l'intervalle [0.81%; 1.28%]. Ces valeurs aboutissent à un terme constant compris dans l'intervalle [0.49%; 1.11%]. Ces résultats sont eux aussi affectés par le problème de diaphonie et seront, à fortiori, améliorés. Malgré tout pour certains secteurs le terme constant obtenu est déjà en deça de la valeur requise.

## 5 Conclusions

L'étude de l'uniformité et de la résolution de la réponse des modules de série permet d'observer et de comprendre certains effets et de développer des algorithmes afin de les prendre en compte dans les analyses. Certains de ces effets sont maintenant bien connus, mais d'autres restent encore à comprendre. Les résultats obtenus sont relativement bon, compte tenu de l'effet de la diaphonie dans une des deux traversée de cable.

## Remerciements

Je remercie les organisateurs des JJC 2002 pour cette semaine enrichissante passée à Aussois.

## Références

- [1] S. Tapprogge.  
*Physics at the LHC : ATLAS performance*, ATL-CONF-99-14, 18 Octobre 1999.
- [2] ATLAS collaboration.  
*Technical Proposal for a General-Purpose pp Experiment at the Large Hadron Collider at CERN*, 1994.
- [3] Atlas Collaboration.  
*Technical Design Report, vol. 1, Detector and Physics Performance*, CERN/LHCC/99-14, 25 Mai 1999.
- [4] Pascal Perrodo.  
*Material between the presampler and the EMB module 0*, ATL-LARG-2001-002, 08 Janvier 2001.

<sup>3</sup>Une portion  $\Delta\eta \times \Delta\varphi = 0.2 \times 0.2$